Verkehr

Sarah Klein

Universität des Saarlandes

15. Juni 2011

Gliederung

Fundamentale Fragen

- Stabiler Zustand?

Fundamentale Fragen

- Stabiler Zustand?
- Phasenübergänge?

Fundamentale Fragen

- Stabiler Zustand?
- Phasenübergänge?
- Falls stabiler Zustand
  $\longrightarrow$ Zeitentwicklung?

Fundamentale Fragen

- Stabiler Zustand?
- Phasenübergänge?
- Falls stabiler Zustand
  $\longrightarrow$ Zeitentwicklung?
- Abhängigkeit von Fluss und Konzentration?

Probleme

- Keine reproduzierbaren Experimente

Probleme

- Keine reproduzierbaren Experimente
- Externe Einflüsse

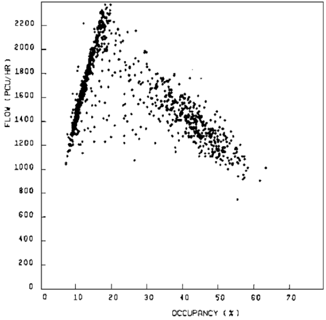
Probleme

- Keine reproduzierbaren Experimente
- Externe Einflüsse
- Faktor Mensch

[2]

Fundamentaldiagramm

- Beschreibt Fluss J in Abhängigkeit der Dichte c
- Maximaler Fluss
  $\longrightarrow$ Phasenübergang



[1]

- Empirische Daten
- Punkte: Mittelung über 5 Minuten

Phasen

Ordnungsparameter: $m = \frac{1}{L}\sum_{j=1}^{L} n_j n_{j+1}$ mit $n_i = 0, 1\ \forall i = 1, ..., L$

- Frei-Fluss-Phase
  $\rightarrow$ Fahrer kann nahezu mit gewünschter Geschwindigkeit $\tilde{v}$ fahren

- Gestockte Phase
  - Synchronisierter Verkehr
    $\rightarrow v < \tilde{v}$, aber $v \neq 0\ \forall t$
  - Stop-and-Go
    $\rightarrow$ Starke Änderung von v mit t
    $\rightarrow v = 0$ für mehrere Zeitintervalle

Synchronosierter Verkehr [6]

Stop and Go [6]

Fluiddynamik

Beschreibt Verkehr als eindimensionales kompressibles Fluid
$\rightarrow$ Existieren Konzentration $c(x,t)$ und Fluss $J(x,t)$ mit

$$\boxed{\frac{\partial c(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial J(x,t)}{\partial x} = \sum_{i=1}^{J_{in}} \alpha_i(x - x_i, t) - \sum_{j=1}^{J_{out}} \beta_j(x - x_j, t)} \tag{1}$$

- $\alpha_i(x - x_i, t) = \alpha_i^0(t)\phi_i(x - x_i)$ und $\beta_j(x - x_j, t) = \beta_j^0(t)\phi_j(x - x_j)$
- $\phi_{i,j}(x - x_{i,j})$: Räumliche W'-Dichte des ein-/ausfließenden Flusses
- $\alpha_i^0(t)$, $\beta_j^0(t)$: Zeitliche Fluktuationen

Problem: 1 Gleichung, 2 Unbekannte

Lighthill-Whitham Theorie

Annahme: $J(x,t) = j(c(x,t))$

$\rightarrow$ x-Abhängigkeit von $J(x,t)$ ist x-Abhängigkeit von $c(x,t)$
bzw. mit $J = c(x,t)v(x,t)$
x-Abhängigkeit von $v(x,t)$ ist x-Abhängigkeit von $c(x,t)$

$$\frac{\partial c(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial c(x,t)}{\partial x} \underbrace{\left[v(x,t) + c(x,t)\frac{dv}{dc} \right]}_{=:v_g(c)=\frac{dJ}{dc}} = 0$$

Lösung der Kontinuitätsgleichung: $c(x,t) = F(x - v_g t)$
$\rightarrow$ Dichtewelle mit Gruppengeschwindigkeit v_g

Diskussion

Sei $J(c)$ konvex

- Gibt Bereiche mit $\frac{dv_g}{dc} < 0$

$\longrightarrow$ Größere c propagieren schneller als kleinere

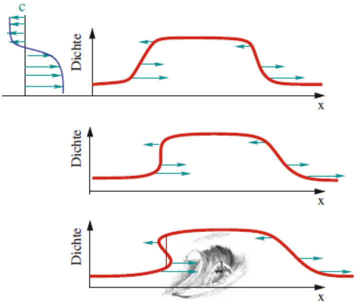
- Gibt Bereiche mit $\frac{dv_g}{dc} > 0$

$\longrightarrow$ Größere c propagieren langsamer als kleinere

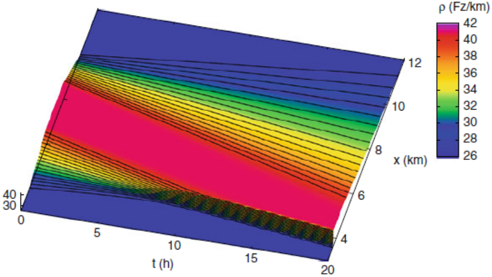
$\Rightarrow$ Umordnung der anfänglichen Dichteverteilung

Diskontinuität in c und somit in v
$\longrightarrow$ Schockwelle entsteht

Schockwellen



Ausbildung von Schockfronten durch die Dichteabhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeiten im LW-Modell [4]



Lösung des LW-Modells mit einem Bereich gestauten Verkehrs (rot) mit freiem Verkehr (blau) davor.[4]

Car-following Modell

- Newtonsche Bewegungsgleichung für jedes einzelne Auto

$\longrightarrow$ Reaktion des Fahrers $\propto$ Erfahrenen Reizen

- Fahrer reagiert durch Beschleunigung oder Abbremsen

$$\ddot{x}_n = f_{Reiz}(v_n, \Delta x_n, \Delta v_n)$$

- f_{Reiz}: Erfahrener Reiz des n-ten Fahreres
- v_n: Geschwindigkeit des n-ten Autos
- Δx_n: Abstand zu $n+1$-ten Auto
- Δv_n: Geschwindigkeitsdifferenz zum $n+1$-ten Auto

Follow-the-leader-Modell

f_{Reiz} ist nur von Δv_n abhängig

$\rightarrow \ddot{x}_n(t) = \frac{1}{\tau}(\dot{x}_{n+1}(t) - \dot{x}_n(t))$
(τ: Zeitskalierung $\simeq$ Empfindlichkeitskoeffizient $\frac{1}{\mathscr{S}}$)

Realistischer: Fahrer hat Reaktionszeit T

$\rightarrow \ddot{x}_n(t+T) = \mathscr{S}(\dot{x}_{n+1}(t) - \dot{x}_n(t))$

aber:

- Keine Abhängigkeit von Abstand zwischen Autos
- Keine Clusterbildung
- Keine Dichteabhängigkeit

Verbesserungen

- $\mathscr{S}$ hängt von Δx_n ab:

$$\mathscr{S}_n = \frac{\kappa[v_n(t+\tau)]^m}{[x_{n+1}(t) - x_n(t)]^l} \qquad m, l, \kappa \text{ Konstanten}$$

$\rightarrow$ N nichtlineare gekoppelte DGLn

Schwachpunkte:

- Viele Parameter, die aus echtem Verkehr bestimmt werden müssen
- Bei Erweiterung auf mehrere Spuren: Fahrer beschleunigt nur bis $\tilde{v}$

Optimale-Geschwindigkeits-Modell

$$\ddot{x}_n(t) = \frac{1}{\tau}[\tilde{v}_n(t) - v_n(t)]$$

- $\tilde{v}_n(t)$ hängt von Abstand zu $n+1$-tem Auto ab

$\longrightarrow$ $\tilde{v}_n(t) = v_n^{opt}(\Delta x_n(t))$

$$\ddot{x}_n(t) = \frac{1}{\tau}[v_n^{opt}(\Delta x_n(t)) - v_n(t)]$$

wobei $v_n^{opt}(\Delta x_n(t)) \to 0$ für $\Delta x_n \to 0$

$\longrightarrow$ $v_n^{opt}(\Delta x_n(t))$: Sichere Geschwindigkeit

Einschränkungen und Verbesserungen

- Homogene Lösung $x_n^h = \frac{L}{N} n + v_c t$ muss stabil sein (L: Straßenlänge, N: Anzahl Autos, v_c: konstante Geschwindigkeit)
- Unterscheidung Auto und LKW:

$\rightarrow$ $\tau = \tau_n$

- Interaktionen von mehreren Autos:

$$\ddot{x}_n(t) = \sum_{j=-k}^{m} \mathscr{S}_j \left[v^{opt} \left(\frac{x_{n+j} - x_n}{j} \right) - v_n \right]$$

Cellular Automaten

→ Diskretisieren von Raum, Zeit und Zuständen eines Systems

→ Zelle: Jeder mögliche Punkt im Raum mit endlicher Anzahl von Zuständen

→ Feste Regeln für Updaten des Systems in Abhängigkeit von

  → Zustand der Zelle

  → Zustand der benachbarten Zellen

→ **hier:**

  - Position, Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung diskret
  - Eindimensionales Gitter mit Besetzungszahl 0 oder 1

Nagel-Schreckenberg-Modell

- $v_n \in \{0, 1, ..., v_{max}\}$, $x_n \in \{0, 1, ..., L-1\}$
- Abstand zwischen Autos: $d_n = x_{n+1} - x_n$

Update-Regeln:

1.) **Beschleunigen** $v_n \to \text{min}(v_n + 1, v_{max})$

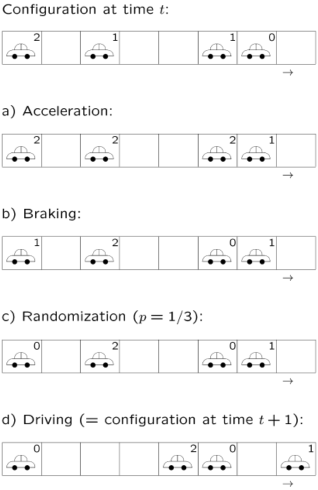
2.) **Abbremsen** $v_n \to \text{min}(v_n, d_n - 1)$

3.) **"Trödeln"** $v_n \to \text{max}(v_n - 1, 0)$ mit Wahrscheinlichkeit p

4.) **Bewegen** Vorrücken jedes Teilchens mit der neuen Geschwindigkeit:

$$x_n \to x_n + v_n$$

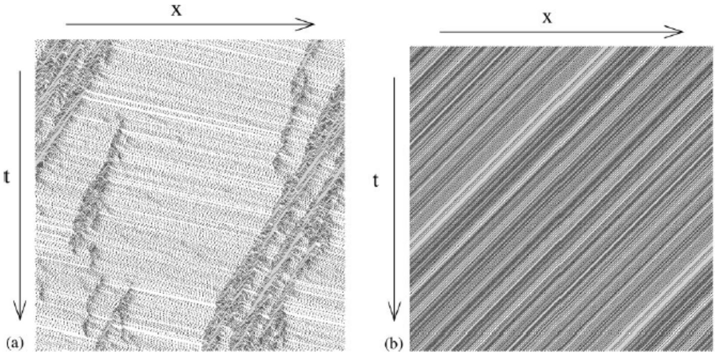
Beispiel



- $v_{max} = 2$
- $p = \frac{1}{3}$

Einfluss von p

$v_{max} = 5$



a) p=0.25, c = 0.2

b) p=0, c=0.5

Grenzfälle

- $p = 0$

$\longrightarrow$ Modell ist deterministisch

$\longrightarrow$ Stationärer Zustand hängt nur von Dichte c ab

$\longrightarrow$ $J = min(cv_{max}, 1 - c)$

Grenzfälle

- $p = 0$

$\longrightarrow$ Modell ist deterministisch

$\longrightarrow$ Stationärer Zustand hängt nur von Dichte c ab

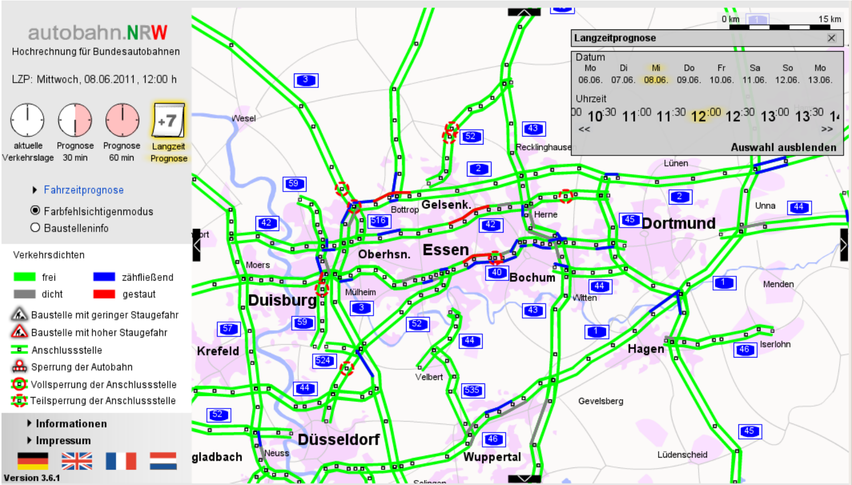
$\longrightarrow$ $J = min(cv_{max}, 1 - c)$

- $p = 1$

$\longrightarrow$ stationärer Zustand für $v_{max} > 1$ und $c > c^*$: $J = 0$

Ergebnisse

- “Stau aus dem Nichts“ wird beobachtet
- Ohne Erweiterungen: Kein synchronisierter Verkehr beobachtbar
- Simuliert Verkehr der Schweiz (TRANSIMS) und ist Grundlage der Verkehrsprognose in NRW


autobahn.NRW
Hochrechnung für Bundesautobahnen
LZP: Mittwoch, 08.06.2011, 12:00 h
aktuelle Verkehrslage
Prognose 30 min
Prognose 60 min
Langzeit Prognose
Fahrzeitprognose
Farbfehlsichtigenmodus
Baustelleninfo
Verkehrsdichten
frei
zähfließend
dicht
gestaut
Baustelle mit geringer Staugefahr
Baustelle mit hoher Staugefahr
Anschlussstelle
Sperrung der Autobahn
Vollsperrung der Anschlussstelle
Teilsperrung der Anschlussstelle
Informationen
Impressum
Version 3.6.1
Langzeitprognose
Datum
Mo 06.06. Di 07.06. Mi 08.06. Do 09.06. Fr 10.06. Sa 11.06. So 12.06. Mo 13.06.
Uhrzeit
10:30 11:00 11:30 12:00 12:30 13:00 13:30
Auswahl ausblenden
0 km 15 km
Wesel
Recklinghause
Lünen
Gelsenk.
Bottrop
Herne
Dortmund
Unna
Oberhsn.
Essen
Bochum
Moers
Mülheim
Witten
Menden
Duisburg
Krefeld
Hagen
Iserlohn
Velbert
Gevelsberg
Düsseldorf
Neuss
Wuppertal
Lüdenscheid
gladbach

[5]

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

[3]

Quellen

[1] Chowdhury, D., Santen, L., Schadschneider, A., (2000).
Statistical Physics Of Vehicular Traffic And Some Related Systems.
Physics Reports 329 199-329

[2] http://www.abendblatt.de/multimedia/archive/00225

[3] http://www.vollverdummt.de/portal/pics/upload/cartoons

[4] Treiber, M., Kesting, A., (2010).
Verkehrsdynamik und -simulation. Daten, Modelle und Anwendungen der Verkehrsflussdynamik.
Springer Verlag

[5] www.autobahn.nrw.de

[6] http://de.wikipedia.org/wiki/Drei-Phasen-Verkehrstheorie